

基施尿素对土壤剖面中无机氮动态的影响

刘学军 巨晓棠 张福锁

(中国农业大学资源与环境学院)

摘要 氮肥作基肥是我国农业生产中获得高产的一项重要措施,但作物对基肥氮的反应取决于土壤肥力条件及氮肥在土壤中的转化。本研究利用田间小区试验研究了尿素一次基施对高肥力草甸褐土中无机氮动态的影响。结果表明,冬小麦播前尿素作基肥施入土壤后首先影响表层土壤(0~ 20 cm)无机氮的动态。施氮4 d后土壤铵态氮达到高峰,随后的10 d内迅速下降至对照水平;而土壤硝态氮一直平稳升高于施肥后14 d左右达到最大值,以后直到冬灌前均无明显变化。说明本试验条件下土壤中尿素的水解和硝化作用在2周内基本完成。小麦生长期土壤剖面中铵态氮的含量一直保持较低水平,几乎不受施氮水平的影响。而土壤0~ 100 cm剖面中硝态氮的含量随施氮量的增加而增加,且硝态氮向下层土壤移动的趋势也十分明显。但从各处理100~ 200 cm土层中硝态氮含量没有明显差异的结果判断,冬前基施的尿素在冬小麦季淋溶出1 m土体的可能性不大。

关键词 尿素; 草甸褐土; 无机氮; 硝态氮淋洗

中图分类号 S143.1

Effect of Basal Application of Urea on Inorganic Nitrogen in Soil Profile

Liu Xuejun Ju Xiaotang Zhang Fusuo

(College of Natural Resources and Environment Sciences, CAU)

Abstract Nitrogen applied as basal fertilizer is an important measure to obtain high yield in agricultural practice. However, the crop's response to N fertilizer mainly depends on the soil fertility level and the transformation of fertilizer N in soils. In order to study the effect of basal application of urea on N transformation and dynamics of inorganic N, a field experiment with four N levels (0, 75, 112.5 and 150 kg · hm⁻²) was carried out in a calcareous cinnamon soil in the campus of China Agricultural University, Beijing. The results showed that the applied urea was quickly hydrolyzed into NH₄-N within 4 days then converted to NO₃-N in the following 10 days. Except a small change in surface soil (0~ 20 cm) just after urea application, NH₄-N in soil profile remained at a very low level during the whole growing period of winter wheat. On the contrary, the change of NO₃-N in soil profile was far more than that of NH₄-N. After a heavy irrigation before winter, NO₃-N in surface soil decreased while NO₃-N in deep soil (below 20 cm) increased respectively, showing the movement of NO₃-N from surface soil into the lower layer. After harvest of winter wheat, the accumulation of NO₃-N in 0~ 100 cm soil increased with the increase of N

收稿日期: 2001-04-05

国家自然科学基金(39870479)和北京自然科学基金(6980001)资助项目。

刘学军,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

rate even more than $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. However, the amount of $\text{NO}_3\text{-N}$ in 100~200 cm soil among N treatments was not obvious different. These results showed that the movement of $\text{NO}_3\text{-N}$ mainly concentrated on 0~100 cm soil and the possibility of $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching to 100~200 cm soil was too small during growing season of winter wheat when N rate was less than $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. In summary, large dose of N applied as basal fertilizer should be avoided in order to reduce N loss in high fertile soil.

Key words urea; cinnamon soil; inorganic N; $\text{NO}_3\text{-N}$ leaching

近20年来随着我国氮肥用量的迅速增加,氮肥在农田生态系统中的转化与去向问题已日益成为土壤学、植物营养学以及环境科学等诸多学科共同关注的热点^[1~3]。其中,确定适宜氮肥用量、施用时期和施用方法是氮肥推荐中的3个核心环节。氮肥基施是我国一项传统的施肥措施,也是农学工作者认为保证作物前期早发、生长健壮的前提条件。但是,由于作物生长前期对氮的需求较少,因此基施氮肥的作物利用率和氮素损失率引人关注。国内这方面的研究较多,侧重点主要是施氮时期对作物产量和氮肥利用率的影响。如张翔等^[4]利用¹⁵N示踪方法研究了不同施氮时期对作物产量、氮肥利用率和损失率的影响,结果表明氮肥全部底施时冬小麦产量和氮肥利用率最低,冬前追施次之,拔节期追施最高,而氮肥损失率以底施大于冬前追施又大于拔节追施。张绍林等^[5]在河南封丘潮土冬小麦上所作的¹⁵N试验结果也表明,不同时期和方法比较氮肥损失率以基肥条施最高,返青表施后灌水和拔节表施后灌水相对较低。在国外,这方面的研究主要是比较秋季或冬季施氮对环境的不利影响。德国的研究^[6]证明,在降雨较多的冬季施用氮肥可以引起严重的硝酸盐淋洗问题,因此政府禁止农民在晚秋至整个冬季使用氮肥。那么在我国冬季降雨量较少的华北平原,氮肥冬前一次大量基施的转化特征如何?有无淋失的风险?尿素态氮作基肥用量以多少为宜?基肥氮的产量效应和利用率如何?这些问题的研究对于高肥力土壤意义尤为突出。为此,我们利用田间试验研究了基施尿素对冬麦田土壤剖面中无机氮动态的影响,为氮肥的合理施用提供依据;而氮肥的产量效应和氮素平衡将另文报道^[7]。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于中国农业大学科学园试验农场,包括大田和自动气象站以及渗漏水池3个部分。试验点位于华北平原的北端,东经 119.5° 北纬 39.95° ,属于典型暖温带大陆性季风气候区,全年降雨集中在夏季(6—8月),多年平均降雨量约为640 mm,且年际间变化大,年均气温为 11.5°C 。冬小麦/夏玉米轮作是该地区主要的粮食种植方式。供试土壤为草甸褐土,其基本理化性质如表1所示。按北京土壤肥力分级标准^[8],该试验地所在土壤属于高肥力土壤。

表1 供试土壤的基本理化性质

土壤类型	质地	容重 $/(g \cdot cm^{-3})$	pH	有机质 $/(g \cdot kg^{-1})$	全氮 $/(g \cdot kg^{-1})$	有效磷 $/(mg \cdot kg^{-1})$	有效钾 $/(mg \cdot kg^{-1})$
草甸褐土	中壤	1.32	8.25	26.7	1.43	41.9	95.5

1.2 试验设计与田间管理

试验设 4 个 N 水平, 施氮量分别为 0, 75, 112.5 和 150 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (以下简称 N0, N75, N112.5, N150)。氮肥品种为普通尿素(含氮 46%), 所有氮肥均作基肥于播前结合翻耕一次施入土壤。各处理均同时施入重钙(含 P_2O_5 46%) 196 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 作底肥。每个处理设 3 个重复。小区面积为 $21 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 126 \text{ m}^2$, 采用随机区组排列。供试作物为冬小麦, 品种为农大 101。

试验于 1997 年 10 月 5 日施肥, 6 日播种。其他农事记录如下: 1997 年 11 月 18 日浇冬前水 75 mm, 次年 4 月 16 日浇拔节水 75 mm, 1998 年 6 月 10 日收获、计产, 并按籽粒和茎叶取植物样分析含氮量。

1.3 测定项目及方法

每个试验小区分为动态取样区和收获区 2 部分, 土壤和植物动态样均在取样区中采集, 收获区专用于收获计产为非破坏区。土壤无机氮分别于播前、冬前、拔节、扬花及收获期取样测定, 采样深度为 0~100 cm, 采样均按 20 cm 为一层, 每小区随机取 3 钻, 相同层次的土壤混合为一个样。土壤无机氮(N_{min})用 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 CaCl_2 溶液(水土比 10:1)浸提, 三通道流动分析仪(TRAACS2000)同时测定铵态氮和硝态氮的含量。另外, 播前和收获后在各处理的部分小区在 0~100 cm 土样基础上加取 100~200 cm 土壤剖面样, 用同样的方法测定土壤 N_{min} 的含量。单位面积内土壤 N_{min} 的总量可根据土壤容重和土层深度进行换算。

2 结果与讨论

2.1 基施尿素的冬前转化特征

由于所施入的尿素全部集中在耕层土壤(0~20 cm), 因此在没有灌溉和大范围降雨的前提下观察耕作层土壤 N_{min} 的动态可以反映氮肥在土壤中的转化状况。从图 1 可以看出, 施用尿素 4 d 后各处理土壤中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的含量迅速达到高峰, 其含量随施氮量的增加而增加, 随后 $\text{NH}_4\text{-N}$ 不断下降, 14 d 后基本降至与 N_0 持平的水平。这说明本试验条件下尿素的水解作用在 4 d 内基本完成, 而这段时间内应防患肥料氮的氨挥发损失。而土壤中硝态氮的含量在施肥后一直呈稳步增长的态势, 特别是在施肥 4 d 后, 随着土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量的急剧下降, $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量则相应迅速增加, 2 周后 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量稳定 45~55 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间(图 1)。上述结果说明, 冬前

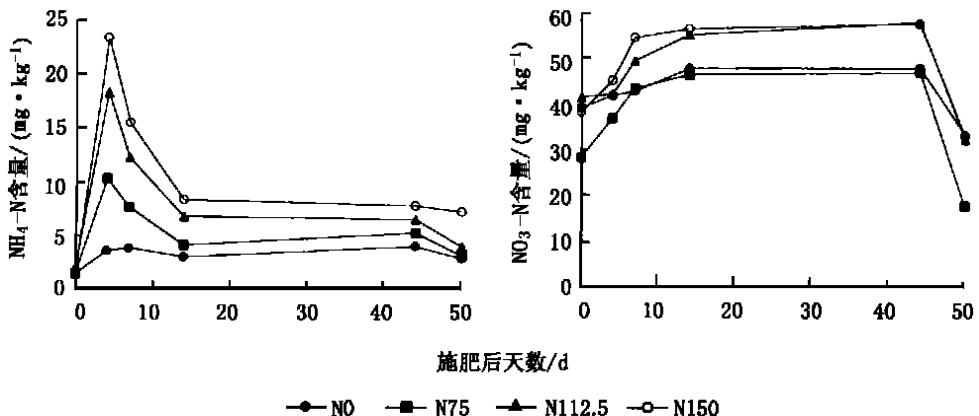


图 1 基施尿素后冬前耕层土壤中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的动态

作基肥条件下尿素态氮在土壤中的转化过程只需 2 周即可基本完成。但值得注意的是,从施肥后 44~ 50 d 各处理耕层土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量显著下降,这是由于冬前一次大量灌溉引起该层硝态氮向下运移的结果。

2.2 基施尿素对土壤剖面中 N_{min} 动态的影响

2.2.1 $\text{NH}_4\text{-N}$ 动态 不同生育期土壤剖面中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量变化较小,和播前相比小麦生长后期略有增加,但不同施氮水平、不同时期和不同土壤层次中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量均无显著差异(结果未列出)。土壤 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量只在施用尿素后短期内才表现出“先升后降”的变化趋势(图 1),其他时期各处理土壤剖面中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 一直维持在一个相对较低的水平($2\sim 6\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)。因此,在进行土壤 N_{min} 测试推荐施肥时可以不考虑 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的影响。土壤中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的这种相对稳定性可以从以下 2 个方面来加以解释:首先 $\text{NH}_4\text{-N}$ 是阳离子容易被带负电荷的土壤胶体吸附固持,其次 $\text{NH}_4\text{-N}$ 易被硝化微生物转化 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。

2.2.2 $\text{NO}_3\text{-N}$ 动态 土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量随施氮量的增加而增加,并存在明显下移的趋势,尤其以 N12.5 和 N150 处理更为明显(图 2)。如冬前灌水后,所有处理表土层和部分亚表层土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 明显下降,而所有 40 cm 以下土层中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量均有不同程度的提高,这说明这次灌溉已引起 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在 0~ 100 cm 土体内的下移。而冬前至返青拔节期,由于冬小麦根系对氮素的大量吸收^[7],土壤剖面中几乎所有层次 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量呈现下降的趋势。值得指出的是,原有土壤残留 $\text{NO}_3\text{-N}$ 也表现出类似的向下移动特征,这从无氮区起始 $\text{NO}_3\text{-N}$ 主要分布在表土层,而收获时残留 $\text{NO}_3\text{-N}$ 主要分布于 20 cm 以下土层的结果(图 2)即可看出。

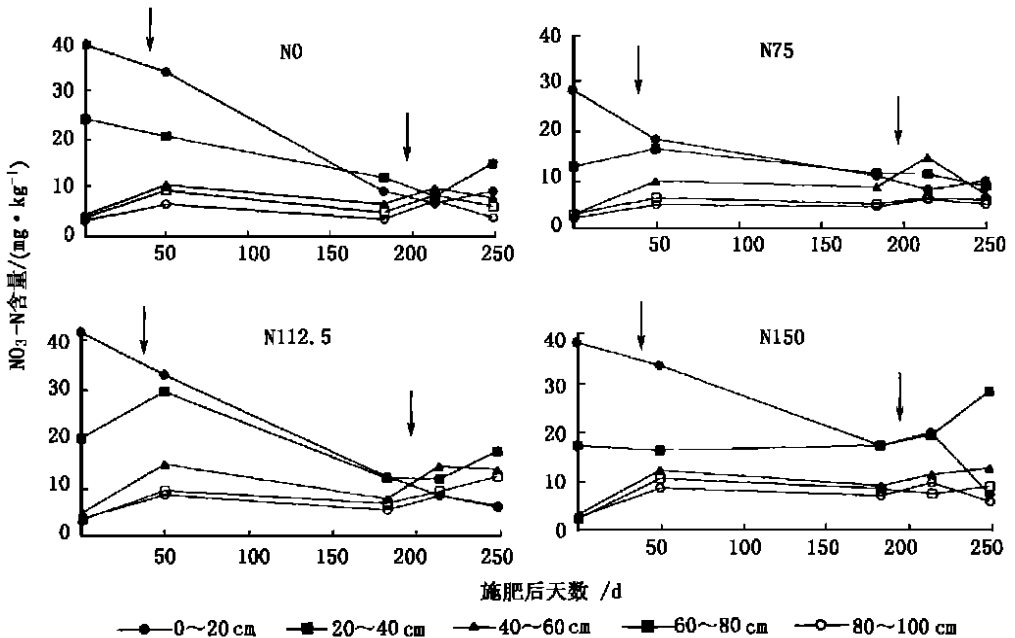


图 2 基施尿素对土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 动态的影响(图中箭头表示灌溉时间)

为了进一步探讨基施的尿素在冬小麦季淋洗出 100 cm 土体的可能性,在麦收后我们还取样测定了各处理部分小区 0~ 200 cm 土层中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量。从 0~ 200 cm 剖面 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的

空间分布和总量结果(图 3)来看,各施氮处理土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 主要累积于 0~ 100 cm 土体,而 100 ~ 200 cm 土层中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量没有明显差异,表明冬小麦上基施的氮肥在 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以内时当季淋洗出 100 cm 以下土体的可能性较小。这与陈子明等^[9]在渗漏池上所得的结果基本吻合。不过,这一结果并不意味着在湿润年份或过量施氮条件下肥料氮没有淋出 1 m 土体的风险。

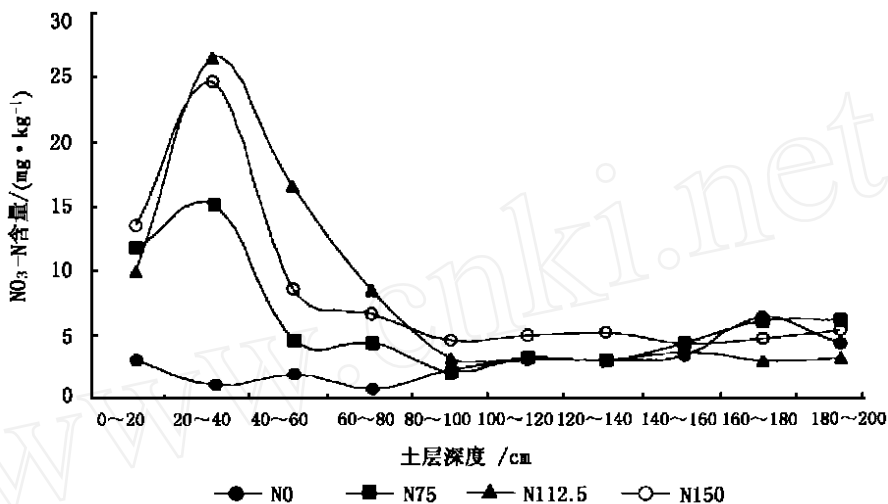


图 3 基施尿素对 0~ 200 cm 剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 分布的影响

2.3 氮肥用量与土壤 N_{min} 残留的关系

概括地说,氮肥进入土壤后其去向大体可分为 3 个部分,即作物吸收、土壤残留和损失。作物对氮素的吸收受产量潜力和作物自身营养特性的限制,其增量总是有限的。因此,在氮肥过量施用条件下,除一部分通过微生物固持进入有机氮库外,肥料氮往往表现为在土壤中以 N_{min} 的形式残留,进而以各种途径损失出土壤-作物系统^[2, 10, 11]。 N_{min} 作为肥料氮残留于土壤的主要形式,也是衡量氮肥施用合理与否的重要指标。由于土壤中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量受施肥的影响很小,故这里只列出 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的变化。图 4 的结果表明,冬小麦收获后 0~ 100 cm 土壤剖面中残留的 $\text{NO}_3\text{-N}$ 总量与施氮量之间的关系可以较好地用 2 段线性方程加以拟合。当施氮量为 $75 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,土壤残留 $\text{NO}_3\text{-N}$ 与 N0 处理几乎持平,而当施氮量增至 112.5 和 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时土壤残留 $\text{NO}_3\text{-N}$ 数量显著高于前 2 个施氮水平,说明这 2 个施氮水平超过了作物氮素需求,造成土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 累积。这与 Raun 等^[12]在冬小麦上所作的结果相一致。

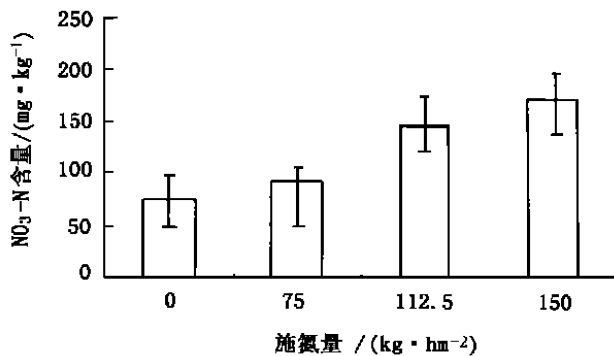


图 4 氮肥用量与小麦收获后土壤剖面中残留 $\text{NO}_3\text{-N}$ 总量的关系

3 结论

1) 在本试验条件下, 冬前基施的尿素在土壤中迅速转化为 $\text{NH}_4\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3\text{-N}$, 其中尿素的水解在 4 d 内基本完成, 而硝化作用的可延至 2 周以上。

2) 在本试验条件下, 在整个小麦生育季土壤剖面中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的含量变化较小, 几乎不受施氮量的影响, 而土壤剖面中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的含量随施氮量的增加而增加, 并不断向剖面下部土层迁移, 但在小麦当季淋出 100 cm 土体的可能性较小。

3) 在本试验条件下, 在施氮量为 $75 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量与对照持平, 而当施氮量为 112.5 和 $150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时土壤 $\text{NO}_3\text{-N}$ 残留量显著增加, 说明一次大量施氮尤其是作基肥有一定的环境风险不宜提倡。

参 考 文 献

- 1 朱兆良 我国氮肥的使用现状、存在问题和对策 见: 李庆逵, 朱兆良, 于天仁, 主编 中国农业持续发展中的肥料问题 南昌: 江西科学技术出版社, 1998, 35~ 38
- 2 朱兆良 农田中氮肥的损失与对策 土壤与环境, 2000, 9: 1~ 6
- 3 张福珠, 熊先哲, 戴同顺, 等 应用 ^{15}N 研究土壤-植株系统中氮素淋失动态 环境科学, 1984, 5: 21~ 24
- 4 张翔, 朱洪勋, 孙河春 应用 ^{15}N 对中低产区冬小麦施氮体系的研究 土壤通报, 1999, 30: 224~ 226
- 5 张绍林, 朱兆良, 徐银华, 等 黄泛区潮土-冬小麦系统中尿素的转化和化肥氮去向的研究 核农学报, 1989, 3: 9~ 15
- 6 van der Ploeg R R, Ringe H, Machulla G, et al Postwar nitrogen use efficiency in West Germany agriculture and groundwater quality. J Environ Qual, 1997, 26: 1203~ 1212
- 7 刘学军, 赵紫娟, 巨晓棠, 等 基施氮肥对冬小麦产量、氮肥利用率及氮平衡的影响 生态学报, 2002, 22
- 8 刘保存, 孙德明, 吴静 北京郊区粮田土壤养分与施肥 北京农业科学, 1999, 17: 30~ 34
- 9 陈子明, 袁锋明, 等 北京潮土 $\text{NO}_3\text{-N}$ 在土体中的移动特点及其淋失动态 植物营养与肥料学报, 1995, (1): 71~ 79
- 10 范丙全, 胡春芳, 平建立 灌溉施肥对壤质潮土硝态氮淋溶的影响 植物营养与肥料学报, 1998, 4: 40~ 43
- 11 Jokela W E, Randall G W. Fate of fertilizer nitrogen as affected by time and rate of application on corn. Soil Sci Soc Am J, 1997, 61: 1695~ 1703
- 12 Raun W R, Johnson G V. Soil-plant buffering of inorganic nitrogen in continuous winter wheat. Agron J, 1995, 87: 827~ 834